

(19)



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) Numéro de publication: **0 340 832 B1**

(12)

## FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication de fascicule du brevet: 29.12.93 (51) Int. Cl.<sup>5</sup>: H05H 5/00

(21) Numéro de dépôt: 89201010.9

(22) Date de dépôt: 20.04.89

(54) Tube neutronique scellé, à haut flux.

(30) Priorité: 26.04.88 FR 8805510

(43) Date de publication de la demande:  
08.11.89 Bulletin 89/45

(45) Mention de la délivrance du brevet:  
29.12.93 Bulletin 93/52

(84) Etats contractants désignés:  
DE FR GB

(56) Documents cités:  
FR-A- 2 167 619  
NL-A- 7 707 357  
US-A- 2 907 884  
US-A- 2 985 760  
US-A- 4 119 858

NUCLEAR INSTRUMENTS AND METHODS,  
vol. 189, 1981, pages 103-106, North-Holland  
Publishing Co., Amsterdam, NL; J.K. HIRVO-  
NEN et al.: "Production of high-current metal  
ion beams"

PHILIPS TECHNICAL REVIEW, vol. 41, no. 1,  
1983/84, pages 24-29, Eindhoven, NL; W.  
HARTL et al.: "Metal/ceramic X-ray tubes for  
non-destructive testing"

(73) Titulaire: SOCIETE ANONYME D'ETUDES ET  
REALISATIONS NUCLEAIRES S.O.D.E.R.N.  
1, avenue Descartes  
F-94450 Limeil-Brevannes(FR)

(84) Etats contractants désignés:  
FR

(73) Titulaire: N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken  
Groenewoudseweg 1  
NL-5621 BA Eindhoven(NL)

(84) Etats contractants désignés:  
DE GB

(72) Inventeur: Cluzeau, Serge Société Civile  
S.P.I.D.  
209, rue de l'Université  
F-75007 Paris(FR)  
Inventeur: Verschoore, Gérard Société Civile  
S.P.I.D.  
209, rue de l'Université  
F-75007 Paris(FR)

(74) Mandataire: Charpail, François et al  
Société Civile S.P.I.D.  
156, Boulevard Haussmann  
F-75008 Paris (FR)

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen, toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition (art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

## Description

L'invention concerne un tube neutronique scellé à haut flux à durée de vie et fiabilité améliorées contenant un mélange gazeux deutérium-tritium, dans lequel une source d'ions fournit un faisceau de grande énergie projeté sur une cible pour y produire une réaction de fusion engendrant une émission de neutrons, ledit tube neutronique comportant une première partie et une seconde partie séparées par l'intermédiaire d'une électrode d'accélération formant écran entre lesdites parties, ladite première partie contenant la source d'ions portée à un potentiel positif et ladite seconde partie contenant la cible portée à un potentiel négatif par rapport à la valeur zéro du potentiel de ladite électrode d'accélération mise à la masse par l'enveloppe externe du tube dont elle est solidaire.

Les tubes neutroniques scellés à haut flux sont utilisés dans les techniques d'examen de la matière par neutrons rapides, thermiques, épithermiques ou froids.

Les tubes actuellement disponibles ont une durée de vie insuffisante au niveau de l'émission nécessaire pour obtenir leur pleine efficacité dans les différentes techniques nucléaires : neutronographie, analyse par activation, analyse par spectrométrie  $\gamma$  des diffusions inélastiques ou des captures radiatives, diffusion des neutrons ...

La réaction  $T(d,n)^4He$  délivrant des neutrons de 14 MeV est habituellement la plus utilisée en raison de sa grande section efficace pour des énergies de deutrons relativement faibles mais toute autre réaction jugée adéquate peut être utilisée.

Toutefois, quelle que soit cette réaction, le nombre de neutrons obtenus par unité de charge transitant dans le faisceau est toujours croissant au fur et à mesure que l'énergie des ions dirigés vers une cible épaisse est elle-même croissante et ceci très au delà des énergies des ions obtenus dans les tubes scellés actuellement disponibles et alimentés par une THT (très haute tension) excédant rarement 200 kv, tant pour des raisons de définition de tube que de fiabilité des générateurs THT et des organes de connexion.

Parmi les phénomènes les plus importants venant limiter la durée de vie du tube neutronique, on doit citer les défauts d'irradiation de la cible par les ions incidents et les métallisations des parois isolantes du tube.

Ces deux phénomènes étant d'autant plus importants que l'intensité du faisceau est elle-même importante, on aurait intérêt à limiter au maximum ce paramètre et donc, pour une émission neutronique donnée à utiliser de grandes tensions d'accélération.

Malheureusement, contrairement au cas des tubes à vide (rayons X par exemple), en pratique dans un tube neutronique scellé de conception classique, il n'est pas possible d'augmenter les dimensions du tube ce qui aurait pour conséquence, d'une part, de faire baisser le rendement neutronique et, d'autre part de provoquer l'amorçage de décharges conformément à la loi de Paschen dans la gamme des basses pressions.

Un autre risque d'amorçage de décharges dans le gaz résulte de l'effet de surface des électrodes soumises à un champ électrique élevé. Cet effet est initié par des particules électriques émises d'une partie du tube à potentiel négatif jouant le rôle de cathode placée en regard d'une autre partie du tube à potentiel positif et donc se comportant comme une anode et qu'il ne faut pas confondre avec des parties du tube ayant des dénominations identiques telles que par exemple l'anode et la cathode de la source d'ions. Ces particules venant frapper d'autres molécules de matière dans le gaz ou sur les électrodes peuvent entraîner par émission secondaire une certaine amplification de l'émission et parvenir ainsi de proche en proche à un courant électrique suffisamment important pour établir un claquage par rupture des qualités diélectriques du milieu, soit en surface des parties isolantes du tube, soit à travers l'espace gazeux du tube lui-même. Dans les cas d'utilisation de la réaction  $T(d,n)^4He$  déjà citée, la présence de tritium -émetteur  $\beta^-$ - accroît encore ce type de risque, de même que les différents rayonnements ionisants associés à la réaction nucléaire ( $X, \alpha, \gamma, n$ ) ou à ses conséquences (rayonnements induits par activation neutronique du tube lui-même ou de son environnement).

Dans les tubes à vide tels que par exemple les tubes à rayons X, on améliore notablement la tenue au claquage en surface des isolants d'une part en augmentant les distances interélectrodes et en scindant le tube en deux parties constituant respectivement l'anode et la cathode de manière à réduire le potentiel de moitié dans chaque partie du tube et d'autre part en donnant aux parties isolantes une inclinaison adaptée par rapport à la direction du champ électrique (voir par exemple l'article intitulé "Metal/ceramic X-ray tubes for non-destructive testing" par W.Harth et al. paru dans Philips Technical Review, vol.41, 1983/1984, N°1, pages 24-29).

Dans le cas des tubes neutroniques, il s'agit de tubes à gaz dont le contenu est à des basses pressions de sorte que le produit  $P \times d$  de la pression par la distance interélectrodes se situe sur la partie gauche de la courbe de Paschen. Dans ce cas, il peut se produire des phénomènes de décharge

particulière du type à avalanche Townsend, pouvant être évités par une réduction de la distance interélectrodes, ce moyen étant limité, à contrario, par le seuil d'apparition d'une forte émission froide d'origine électronique selon la loi de Fowler-Nordheim (F-N).

Les valeurs de la densité de courant d'émission froide calculées par la formule de Fowler-Nordheim font apparaître selon les états de surface des électrodes, un fort coefficient d'amplification de cette densité de courant pour une différence de potentiel donnée. Il en résulte qu'une faible variation de tension peut produire sur le courant une forte croissance ou une forte décroissance selon le sens de cette variation. Qualitativement, on observe une telle forte sensibilité du courant à la tension pour tous les phénomènes parasites amenant à l'existence d'un courant entre les électrodes.

Ainsi, au delà d'un certain seuil de tension, il devient difficile d'éviter l'amorçage dans le gaz soit par effet de surface des électrodes soumises à un champ électrique élevé, soit par collision des ions avec les molécules de gaz si l'on accroît la distance d'isolement pour réduire ce même champ électrique.

Le but de l'invention est de proposer un dispositif de tube neutronique alimenté sous des tensions beaucoup plus élevées que 200 kV et permettant, à fiabilité maintenue satisfaisante, l'augmentation de la durée de vie précédemment évoquée.

Le dispositif de l'invention est remarquable en ce que lesdits potentiels positif et négatif sont, l'un et l'autre, de valeur réglable.

Ainsi pour un même niveau d'émission neutronique, l'intensité du faisceau d'ions se trouve réduite par la possibilité de doubler la différence de potentiel entre source et cible sans augmenter les risques d'amorçage dans le mélange deutérium-tritium par collision des ions avec les molécules de gaz, car la séparation matérielle dudit tube neutronique en deux parties par l'intermédiaire dudit écran conserve inchangées les distances de parcours des ions dans chacune desdites parties. Il est remarquable que cette disposition permet une réduction importante de la valeur critique du produit  $p \times d$  le long des lignes de champ électrique joignant les électrodes.

Lors du processus de formation des courants d'émission froide dans le tube neutronique, ladite enveloppe externe et ladite source d'ions constituent respectivement la cathode et l'anode de ladite première partie du tube d'une part, ladite cible et ladite enveloppe externe constituent respectivement la cathode et l'anode de ladite seconde partie du tube d'autre part. Lesdits courants d'émission froide ainsi développés dans chacune desdites parties du tube par effet de surface des électrodes en regard sont affectés d'un facteur de réduction élevé pouvant atteindre  $10^6$  selon la nature et l'état de surface desdites électrodes, du fait que la différence de potentiel requise pour l'accélération du faisceau d'ions se trouve répartie par moitiés entre lesdites première et seconde parties du tube.

Des documents US-A 2 985 760 et US-A 2 907 884, il est connu un tube neutronique deutérium-tritium qui comprend une première partie contenant une source d'ions et une seconde partie contenant une cible, séparées par une électrode d'accélération mise à la masse par l'enveloppe externe du tube dont elle est solidaire, la source d'ions étant portée à un potentiel positif et la cible à un potentiel négatif.

La répartition de la différence de potentiel globale du tube peut être dissymétrique entre les deux parties du tube -soit du fait des potentiels appliqués, soit du fait des distances géométriques séparant les électrodes- ce qui donne la possibilité intéressante de faire varier les espaces d'accélération entre l'électrode séparatrice et la source d'ions d'une part et entre cette même électrode et la cible d'autre part, de manière à mieux contrôler la focalisation du faisceau ionique en vue d'améliorer la durée de vie du tube.

La description suivante en regard des dessins annexés, le tout donné à titre d'exemple non limitatif, fera bien comprendre comment l'invention peut être réalisée.

Les figures 1 et 2 représentent respectivement en coupe longitudinale, une première et une seconde variante de tubes neutroniques selon l'art antérieur.

Les figures 3 et 4 montrent respectivement la même coupe longitudinale d'une première et d'une seconde variante de tubes neutroniques selon l'invention.

Dans la première variante de modèle connu représentée sur la figure 1, une enveloppe 1 contient un mélange gazeux de deutérium et de tritium en provenance d'un réservoir 2. Ce mélange est ionisé dans la source d'ions 3 portée au potentiel masse. Un faisceau ionique 4 en est extrait par l'électrode d'accélération 5 solidaire de la cible 6 et portée au potentiel négatif de très haute tension (-THT).

La partie de paroi 7 en regard de l'espace d'accélération est obligatoirement en un matériau isolant. Le trajet des pulvérisations métalliques issues de la source d'ions délimite la zone 8 de cette partie de paroi exposée à la métallisation, ce qui constitue l'inconvénient majeur de cette première variante.

Dans la seconde variante de modèle connu représentée sur la figure 2, la source d'ions 9 est portée à un potentiel de très haute tension positif +THT par l'intermédiaire du câble 10 dont l'extrémité est entourée par les manchons isolants 11 et 12 entre lesquels est ménagé un espace destiné à permettre la circulation d'un fluide isolant de refroidissement. L'électrode d'accélération 13 refroidie en 14 par un circuit liquide est

portée au potentiel de la masse ce qui permet de la rendre solidaire de la paroi métallique 15. Cette disposition qui évite la pulvérisation métallique sur les parties isolantes du tube constitue l'art antérieur le plus proche.

Le mélange gazeux de deutérium et de tritium est fourni par l'intermédiaire d'un régulateur de pression

5 16. La pression gazeuse est contrôlée à l'aide d'un manomètre d'ionisation 17.

La source d'ions 9 de type Penning dans l'exemple décrit (mais qui pourrait être de type différent sans nuire à l'invention) comporte une anode 18 à laquelle est appliqué le potentiel + THT, deux cathodes 19 et 20 portées à un même potentiel négatif de l'ordre de 5 kV par rapport à l'anode 18 et un aimant permanent 21 créant un champ magnétique axial et dont le circuit magnétique est fermé par la douille ferromagnétique

10 22 qui enveloppe la source d'ions 9.

Le faisceau d'ions 23 extraits de la source d'ions passe par l'électrode supresseuse 24 et frappe la cible 25 refroidie en 26 par une circulation d'un liquide.

Des phénomènes de claquages peuvent se produire dans l'enceinte d'un tube à gaz sous l'effet de la haute tension appliquée entre les électrodes et dont le processus d'initiation dans le cas du tube neutronique de la figure 2 est le suivant. L'enveloppe de la source d'ions 9 constituée par le circuit magnétique 22 est à un potentiel positif élevé par rapport à celui de l'enveloppe 15 du tube porté au potentiel zéro de la masse. L'enveloppe 22 de la source d'ions va donc jouer le rôle d'une anode et l'enveloppe 15 du tube neutronique va jouer le rôle d'une cathode au niveau de laquelle se développe un champ électrique macroscopique. Les microaspérités présentées à la surface de cette cathode sont

20 capables selon leur géométrie d'amplifier microscopiquement la valeur de ce champ ; il y a alors possibilité d'émission froide d'électrons. Ce courant électronique provoque en outre une ionisation des molécules du gaz contenu dans le tube. Il en résulte un effet d'avalanche qui risque d'aboutir à un court-circuit accidentel, c'est-à-dire à un claquage entre électrodes.

La formule simplifiée de Fowler-Nordheim permet d'apprécier la densité du courant d'émission froide.

25 Cette formule est la suivante (dans le vide, donc sans tenir compte de l'éventuelle amplification due à la présence du gaz) :

$$J = 1,54 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{4,52/W} \cdot \frac{E^2}{W} \exp(-6,53 \cdot 10^7 \frac{W^{1,5}}{E})$$

30

avec  $E = \beta E_0$

$E$  = champ électrique microscopique en V/cm

$E_0$  = champ électrique macroscopique en V/cm

35  $\beta$  = facteur d'amplification dépendant de la géométrie des microaspérités.

$W$  = énergie nécessaire en eV à un électron pour s'échapper de la surface du solide (Travail de sortie). Cette quantité dépend principalement de la nature du matériau constituant l'électrode ou des impuretés de surface.

$J$  = densité de courant d'émission froide en A/cm<sup>2</sup>.

40 Le facteur d'amplification  $\beta$  peut être estimé à partir de courbes selon la forme de l'extrémité des microaspérités (sphérique, ellipsoïdale) et leur hauteur  $h$  au-dessus de la surface de l'électrode.  $\beta \approx 10^2$  pour un rapport  $h/r = 10^2$ ,  $r$  étant le rayon d'une microaspérité dont l'extrémité est de forme sphérique.

La densité de courant d'émission froide  $J$  est donnée en fonction du champ microscopique  $E$  pour différentes valeurs du travail de sortie  $W$  variant de 1,6 à 5 eV.

45 Pour des électrodes portant en surface des impuretés de métaux alcalins, le travail de sortie vaut 2,5 eV. Le champ électrique macroscopique est de l'ordre de  $210^5$  V/cm dans les tubes neutroniques usuels. Si l'on admet un facteur d'amplification de  $10^2$  causé par l'existence de microaspérités on trouve une densité de courant d'émission froide de l'ordre de  $4 \cdot 10^3 \mu A/\mu m^2$ . Pour un champ électrique macroscopique de  $10^5$  V/cm c'est-à-dire réduit de moitié, la densité de courant d'émission froide devient environ  $3 \cdot 10^{-3} \mu A/\mu m^2$

50 c'est-à-dire qu'elle est réduite dans un rapport voisin de  $10^6$ . Cette réduction considérable élimine pratiquement les risques de claquage d'origine F-N entre électrodes et assure ainsi une bonne fiabilité du tube.

On sait par ailleurs que l'amélioration de la durée de vie d'un tube neutronique par réduction de l'intensité du faisceau ionique nécessite l'augmentation de la différence de potentiel appliqué entre source

55 et cible, ce qui augmente beaucoup les risques de claquages au-delà d'une THT voisine de 200 kV. Si l'on accroît les distances d'isolement pour réduire le champ électrique il va en résulter une plus grande probabilité d'amorçage dans le gaz par collision des ions avec les molécules dudit gaz.

Le dispositif de l'invention assure le meilleur compromis possible entre durée de vie et fiabilité d'un tube neutronique en permettant d'augmenter la tension d'accélération du faisceau d'ions tout en maintenant à des valeurs acceptables les valeurs de champ électrique entre les électrodes du tube.

La figure 3 montre le schéma d'une première variante de ce dispositif qui se présente comme deux parties semblables à la partie du tube de la figure 2 comprise entre l'électrode accélératrice 13 et le câble d'alimentation en THT 10. L'une de ces parties contient toujours la source d'ions 18, 19, 20, 21 à l'intérieur de l'enveloppe 15 tandis que l'autre partie contient l'électrode supresseuse 27 et la cible 28 à l'intérieur de l'enveloppe 15'. Ces deux parties sont accolées par leur face présentant l'électrode d'accélération 13 qui leur est commune et donc disposées symétriquement par rapport au plan médian de cette électrode.

Sur cette figure les éléments de la première partie du tube identiques à ceux de la figure 2 sont indiqués par les mêmes chiffres de référence. Les éléments de la deuxième partie du tube présentant un caractère de symétrie vis à vis de ceux de ladite première partie sont indiqués par le même chiffre de référence affecté du signe ' : ainsi 10 et 10' pour le câble, ... 22 et 22' pour la douille ferromagnétique. Dans cette version, le régulateur de pression 16 et le manomètre d'ionisation 17 sont reportés à l'extrémité de cette deuxième partie du tube comportant la cible.

La disposition de la figure 2 permet l'alimentation du tube au moyen d'une seule polarité positive soit + V.

La disposition de la figure 3 permet l'utilisation d'un générateur à deux polarités + V transmise à la source d'ions par le câble 10 et - V transmise à la cible par le câble 10'. Ces deux polarités sont référencées par rapport à la masse à laquelle est portée l'électrode accélératrice 13 solidaire des enveloppes externes 15 et 15'.

Ainsi les champs électriques au niveau de la cathode 15 de la première partie du tube d'une part et au niveau de la cathode 22' de la deuxième partie du tube d'autre part sont maintenus à des valeurs compatibles avec une fiabilité acceptable, alors que la différence de potentiel réglant l'accélération est égale à 2V afin d'augmenter la durée de vie du tube par réduction du courant cible, comme cela a déjà été mentionné précédemment.

Un tel mode d'alimentation du tube neutronique permettant de doubler la différence de potentiel d'accélération du faisceau d'ions offre ainsi la possibilité de compenser la réduction de l'émission neutronique qu'aurait entraîné la seule réduction du courant cible.

Le dispositif de l'invention présente un avantage supplémentaire du point de vue de la fiabilité par le fait que la diminution du courant cible est obtenue par une diminution corrélative du courant de la source d'ions par l'intermédiaire d'une diminution de la pression de fonctionnement.

Ce même dispositif permet en outre de réduire les pulvérisations ayant pour origine la source d'ions, ainsi que celles résultant des ionisations parasites sur le parcours du faisceau.

Par ailleurs l'électrode accélératrice 13 joue de plus le rôle d'un "écran" entre la source d'ions et la cible, ce qui réduit sensiblement les parcours possibles des ions dans le gaz et limite donc encore davantage les risques de claquage dans la perspective d'une fiabilité encore accrue.

Le mode d'alimentation symétrique du tube neutronique offre une autre possibilité intéressante qui est de pouvoir faire varier les espaces d'accélération entre les deux parties du tube et donc de réaliser ainsi une optique ionique permettant d'améliorer le réglage de la focalisation du faisceau. Cela revient à réagir sur les valeurs de champ électrique dans chaque partie du tube.

Ainsi dans la première partie du tube, c'est l'enveloppe 1 qui est cathode. Cette enveloppe constituant la paroi externe du tube présente un rayon de courbure élevé et un champ électrique  $E_1$  est développé entre cette enveloppe et l'enveloppe 11 de la source d'ions jouant le rôle d'anode.

Dans la deuxième partie du tube, c'est l'enveloppe 11' de la cible qui est cathode. Cette enveloppe présente un rayon de courbure plus faible que celui de la paroi du fait qu'elle se trouve à l'intérieur du tube et un champ électrique  $E_2$  est développé entre cette enveloppe et l'enveloppe externe 1' du tube jouant le rôle d'anode.

Si l'alimentation en tension de la source d'ions et de la cible est symétrique, on a l'inégalité  $E_2 > E_1$  du fait de la différence des rayons de courbure au niveau des deux électrodes jouant le rôle de cathode dans chaque partie du tube neutronique.

Pour obtenir un fonctionnement équivalent de chacune des parties du tube, il faut rééquilibrer les champs électriques ( $E_2 = E_1$ ) en réajustant la valeur de la THT appliquée du côté de la cible.

Une deuxième variante du dispositif de l'invention représentée schématiquement sur la figure 4 définit la géométrie des parois isolantes du tube neutronique de façon à réduire au maximum l'effet de "flash-over" le long desdites parois. Cet effet se manifeste par des émissions secondaires successives qui se développent à la surface de l'isolant à partir de l'impact d'une particule venant frapper cette surface. Il en résulte pour l'isolant un effet de surface dommageable qui peut être contrecarré en inclinant les surfaces

isolantes d'un certain angle par rapport au champ électrique, afin que le rebondissement ne se produise plus. La géométrie des isolants peut être différente selon la polarité.

Sur la figure 4, la seconde partie du tube neutronique contenant la cible est identique à celle de la figure 3. Dans la première partie du tube contenant la source, le contenu de la douille ferromagnétique 11 est également identique à celui de la figure 3.

Par contre les manchons isolants 12' et 12'' qui se correspondent dans les zones actives du tube ont leurs surfaces inclinées d'un certain angle par rapport à la direction du flux ionique indiqué par la flèche 29.

Le manchon 11' du câble 10' alimentant l'anode en THT a été conçu pour s'adapter à cette disposition.

## 10 Revendications

1. Tube neutronique scellé à haut flux contenant un mélange gazeux deutérium-tritium, dans lequel la source d'ions (9) fournit un faisceau de grande énergie projeté sur une cible (28) pour y produire une réaction de fusion entraînant une émission de neutrons, ledit tube neutronique comportant une première partie et une seconde partie séparées par l'intermédiaire d'une électrode d'accélération (13) formant écran entre lesdites parties, ladite première partie contenant la source d'ions portée à un potentiel positif et ladite seconde partie contenant la cible portée à un potentiel négatif par rapport à la valeur zéro du potentiel de ladite électrode d'accélération mise à la masse par l'enveloppe externe du tube dont elle est solidaire, caractérisé en ce que lesdits potentiels positif et négatif sont, l'un et l'autre, de valeur réglable.
2. Tube neutronique selon la revendication 1, caractérisé en ce que les champs électriques dans lesdites première et seconde parties du tube neutronique se trouvent répartis de façon dissymétrique du fait desdits potentiels positif et négatif appliqués.
3. Tube neutronique selon la revendication 1, caractérisé en ce que les champs électriques dans lesdites première et seconde parties du tube neutronique se trouvent répartis de façon dissymétrique du fait des distances géométriques séparant les électrodes, ces dernières étant constituées, pour la première partie du tube, la cathode par ladite enveloppe externe (15) et l'anode par ladite source d'ions (9), et pour la deuxième partie du tube, la cathode par ladite cible (28) et l'anode par ladite enveloppe externe (15').
4. Tube neutronique selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que lesdites première et seconde parties du tube neutronique sont disposées symétriquement par rapport au plan médian passant par ladite électrode d'accélération formant écran.
5. Tube neutronique selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que les surfaces des parois isolantes (12', 12'') qui se correspondent dans chacune desdites première et seconde parties du tube neutronique ont une inclinaison de même sens par rapport à la direction du faisceau d'ions.

## Claims

1. A sealed high-flux neutron tube containing a gaseous deuterium-tritium mixture in which the ion source (9) supplies a high-energy beam which is projected onto a target (28) in order to produce therein a fusion reaction causing emission of neutrons, said neutron tube comprising a first part and a second part which are separated from one another by an accelerator electrode (13) which forms a shield between said parts, said first part containing the ion source which is connected to a positive potential, said second part containing the target which is connected to a negative potential with respect to the zero value of the potential of said accelerator electrode which is connected to ground via the external envelope of the tube with which it is integral, characterized in that said positive and negative potentials are both adjustable.
2. A neutron tube as claimed in Claim 1, characterized in that the electric fields in said first and second part of the neutron tube are distributed in a non-symmetrical way because of said positive and negative potentials applied.
3. A neutron tube as claimed in Claim 1, characterized in that the electric fields in said first and second part of the neutron tube are distributed in a non-symmetrical way because of the geometrical distances

separating the electrodes, the latter being formed in the first part of the tube by said external envelope (15) as the cathode and by said ion source (9) as the anode, and in the second part of the tube by said target (28) as the cathode and by said external envelope (15') as the anode.

- 5 4. A neutron tube as claimed in any one of the Claims 1 to 3, characterized in that said first and second part of the neutron tube are symmetrically arranged with respect to the median plane extending through said accelerator electrode forming the shield.
- 10 5. A neutron tube as claimed in any one of the Claims 1 to 3, characterized in that the surfaces of the insulating walls (12', 12'') which correspond to one another in said first and second parts of the neutron tube are inclined in the same direction with respect to the direction of the ion beam.

#### Patentansprüche

- 15 1. Abgedichtete Hochfluß-Neutronenröhre mit einer gasförmigen Deuterium/Tritiummischung, in der die Ionenquelle (9) ein Bündel mit hoher Energie liefert, das auf ein Target (28) projiziert wird, um dort eine Fusionsreaktion zu erzeugen, die eine Neutronenemission auslöst, wobei die Neutronenröhre einen ersten Teil und einen zweiten Teil enthält, die durch eine Beschleunigungselektrode (13) voneinander  
20 getrennt sind, die einen Schirm zwischen diesen Teilen bildet, wobei der erste Teil die Ionenquelle auf einem positiven Potential und der zweite Teil das Target auf einem negativen Potential in bezug auf den Nullwert des Potentials der Beschleunigungselektrode enthält, die durch die externe Röhrenhülle an Masse gelegt wird, mit der sie verbunden ist, dadurch gekennzeichnet, daß die positiven und negativen Potentiale je einen regelbaren Wert haben.
- 25 2. Neutronenröhre nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die elektrischen Felder in den ersten und zweiten Teilen der Neutronenröhre sich auf unsymmetrische Weise durch die angelegten positiven und negativen Potentiale verteilt sind.
- 30 3. Neutronenröhre nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die elektrischen Felder in den ersten und zweiten Teilen der Neutronenröhre durch die geometrischen Abstände zum Trennen der Elektroden unsymmetrisch verteilt sind, die für den ersten Teil der Röhre die Kathode durch die externe Hülle (15) und die Anode für die Ionenquelle (9) und für den zweiten Teil der Röhre die Kathode durch das Target (28) und die Anode durch die externe Hülle (15') bilden.
- 35 4. Neutronenröhre nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die ersten und zweiten Teile der Neutronenröhre in bezug auf einer Medianebene durch die Beschleunigungselektrode, die den Schirm bildet, symmetrisch angeordnet sind.
- 40 5. Neutronenröhre nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberflächen der Isolierwände (12', 12''), die in jedem der ersten und zweiten Teile der Neutronenröhre miteinander übereinstimmen, eine geneigte Stellung in der gleichen Richtung in bezug auf die Richtung des Ionenbündels haben.

45

50

55

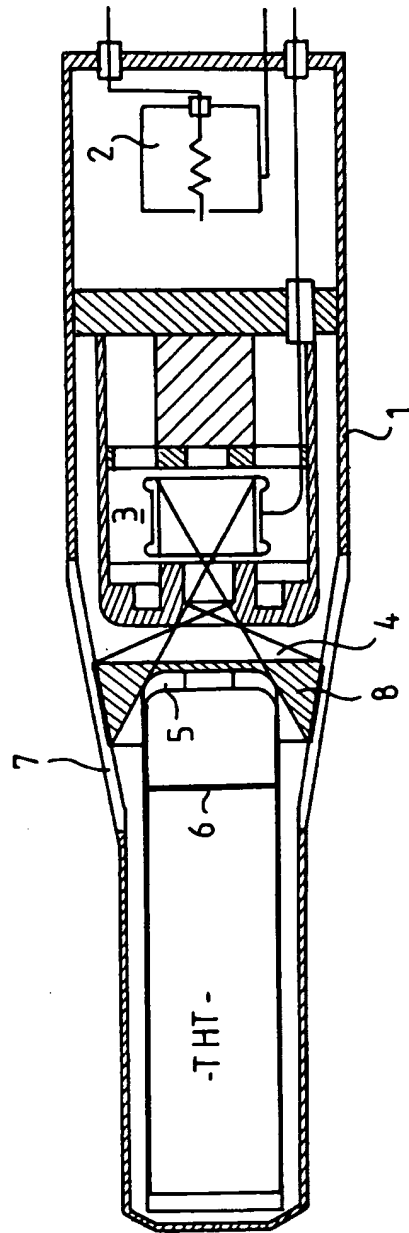


FIG. 1



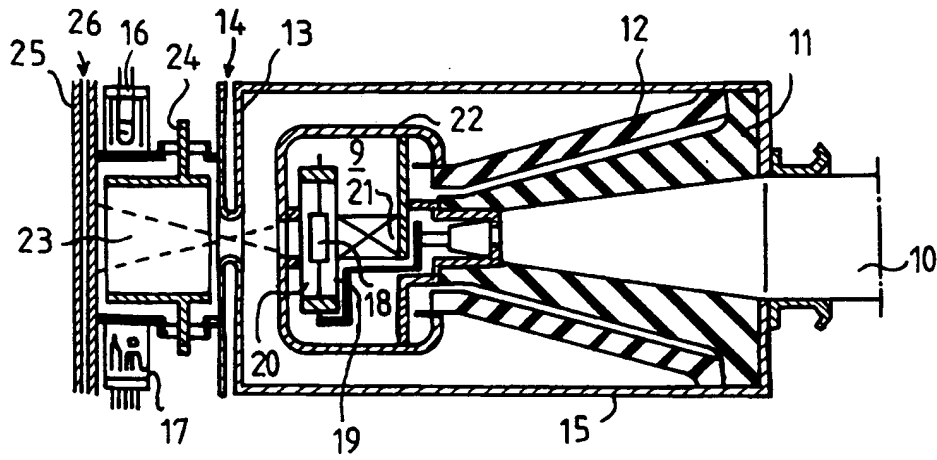


FIG. 2

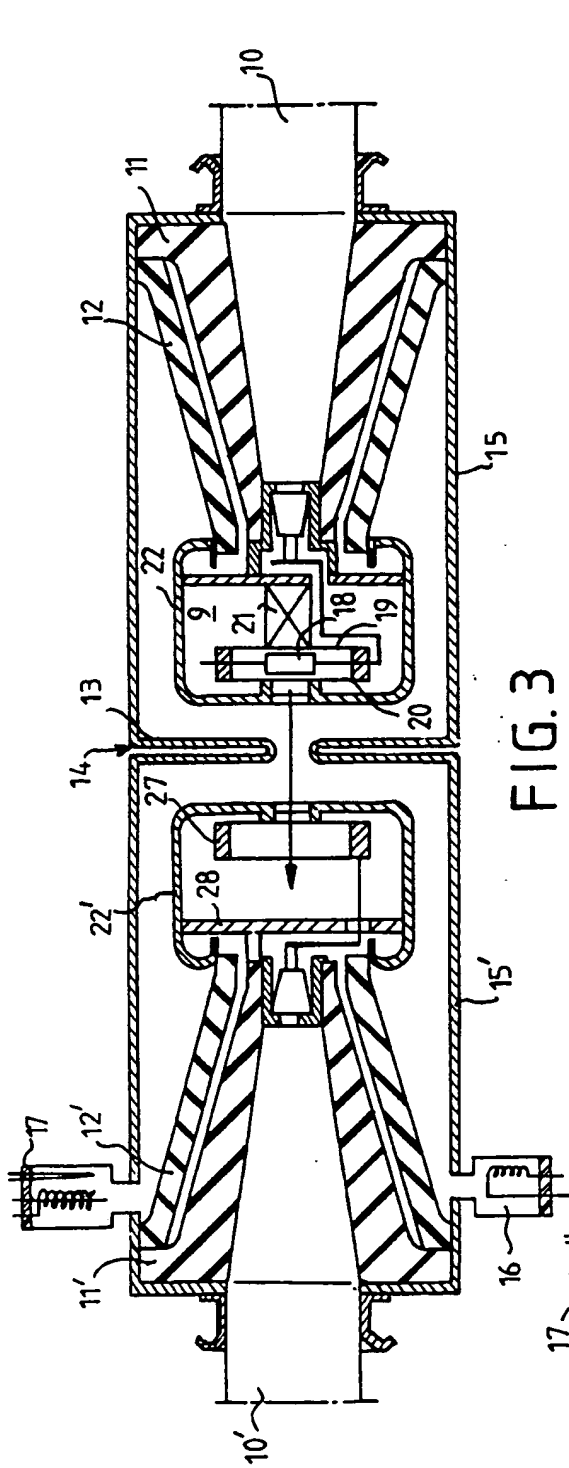


FIG. 3

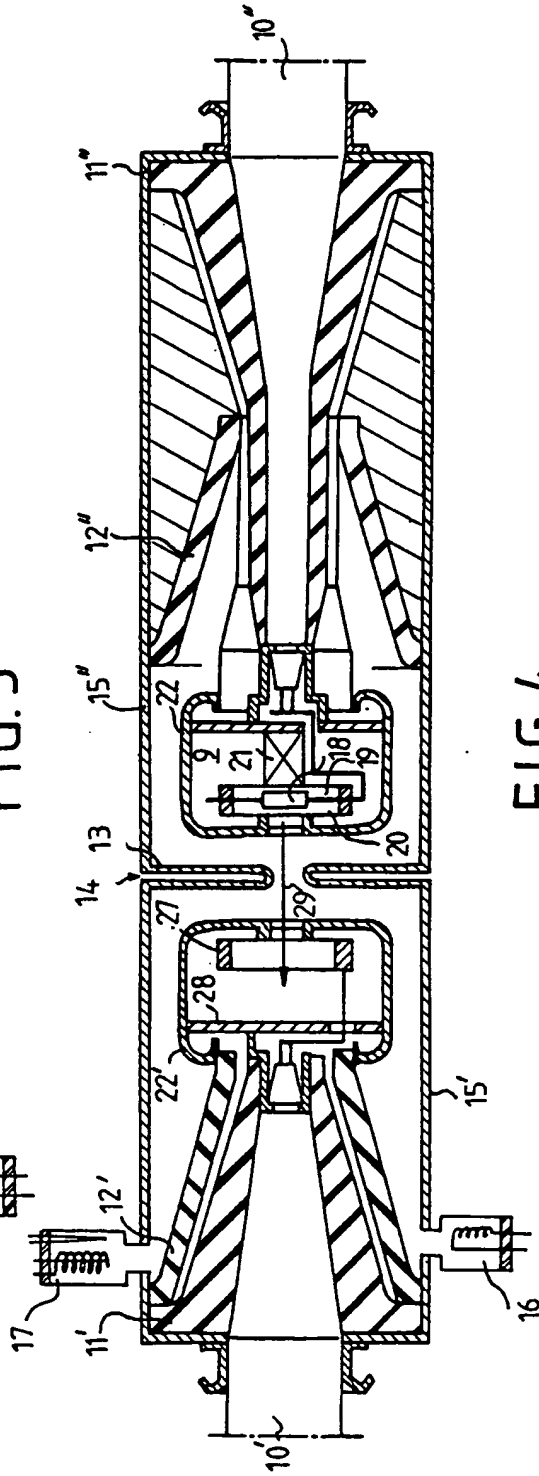


FIG. 4